

文章编号: 1007-5461(2003)01-0030-05

大功率半导体激光器驱动电源

李季, 陈结祥, 张毅, 戚俊, 涂碧海

(中国科学院安徽光学精密机械研究所 合肥 230031)

摘要 根据半导体激光二极管的工作特性,设计了一种以 VICOR 电源为功率模块,以绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 为大功率变换器件的大功率激光二极管驱动电源。该驱动电源电路简单,能有效地抑制电源的浪涌冲击,保证了激光二极管不受外界的电干扰。在线保护机制可实时对半导体激光器工作监控,半导体激光器的慢启动电路、温控电路保证了半导体激光器安全工作。该电源已应用于机载激光雷达样机系统中,通过一年多的使用,半导体激光二极管工作正常,性能稳定可靠。

关键词 激光二极管电源; 功率模块; IGBT; 浪涌损伤

中图分类号: TN248.4 **文献标识码**: A

1 引言

激光二极管泵浦 (DPL) 固体激光器是当前固体激光器的一个重要发展方向。半导体激光二极管以其高效、可靠性好、工作寿命长和可全固化等优良特性被越来越广泛地用于国防、科研、医疗、加工等领域。众所周知,环境温度的变化影响半导体激光器的输出特性,静电和灰尘可导致激光管的损坏。但是如果输出的电压或电流波形质量不高,又缺乏有效的保护措施,将导致激光二极管的性能下降或造成永久性损伤,

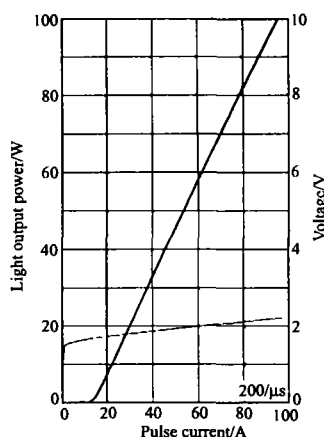


Fig.1 Laser diode performance characteristic

QW-100 W: $P_0=100.9$ W, $I_{th}=12.9$ A, $I_0=97.0$ A,
 $V_0=2.22$ V, $E_s=1.24$ W/A, $E_p=46.9\%$, $R_d=0.006$ Ω ,
 $t=200$ μ s, $f=20$ Hz, $txf=0.400\%$, $T_c=20$ $^{\circ}$ C

或者,由于工作温度的变化,输出波长发生漂移,导致激光器泵浦效率下降,输出功率不稳定。因此,激光二极管驱动电源的设计十分重要,尤其是大功率激光二极管驱动电源的设计。

此外,激光电源输出功率的稳定性也将直接影响激光输出的质量和效果。如果采用可控硅作为功率器件将有很多弊端。首先,工频电力网的电流经整流后进入可控硅,可控硅触发频率为 100 Hz 左右,由于调整频率的限制,电源的工作稳定性不高。电源的稳定性受电力网波动的影响较大。其次,可控硅的触发电路,主要是控制触发相位角的变化,不易实现闭环控制。因此,必须采取全新的功率输出模块,增强电源抗干扰、抗浪涌的能力。

图 1 是一种最大输出功率为 100 W 的半导体激光器在不同电压和电流下激光二极管输出功率的关系曲线,从图中不难看出:激光二极管输出功率与工作电流的影响和工作电压的关系。在温度一定时,要保证激光二极管的输出功率稳定,必须保证激光二极管的工作电流和电压的稳定。

基金项目:中国科学院安徽光学精密机械研究所所长创新基金资助项目。

收稿日期: 2002-06-13; 修改日期: 2002-07-18

因此, 大功率激光二极管的使用, 激光驱动电源的设计性能好坏是关键。为此, 我们结合 863 的任务需求, 着手研制了一台功能齐全, 保护措施完善的新型大功率半导体激光器驱动电源。

2 大功率激光二极管驱动电源的模块设计

我们根据二极管激光器的工作特性设计了一台激光二极管驱动电源, 其电原理框图如图 2 所示。从图中我们可看出驱动电源由电源模块、功率变换模块、低压电源、保护电路、功率输出电路和外控信号处理等单元电路组成, 电源模块的输入为交流电压, 输出为直流电压。功率变换模块将电源的能量通过高频开关变换为能满足功率输出电路所需要的稳定直流电压。

保护电路对电源电压和输出电压及电流等进行检测, 同时提供允许工作或停止工作的信号给功率输出电路。当整个驱动电源工作状态正常, 在外控电路给出激光工作的信号时, 功率输出电路输出稳定的脉冲电流给激光二极管, 电流的频率、脉宽和幅度都可以由控制电路预置、调节或由外信号控制。温控电源给半导体制冷器供电, 将激光二极管表面温度控制在预定的范围内。

半导体激光器驱动电源的工作流程为: 合上电源开关, 电源模块将交流电压变换为近 300 V 的直流电压, 保护电路和外控信号处理电路对电路工作状态进行检测, 并给出“允许工作”或“电路状态错误”的信号, 在外触发电路给出激光工作的信号时, 功率变换模块慢启动, 经过一定的时间延迟后, 启动功率输出, 并在线检测和实施保护。

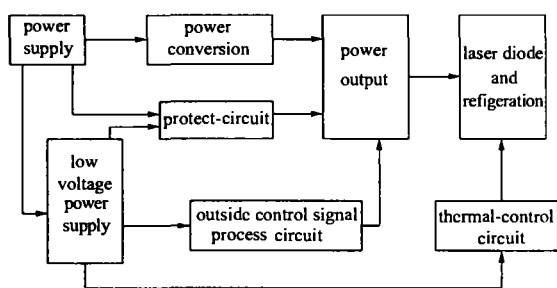


Fig.2 The block diagram of laser diode driver

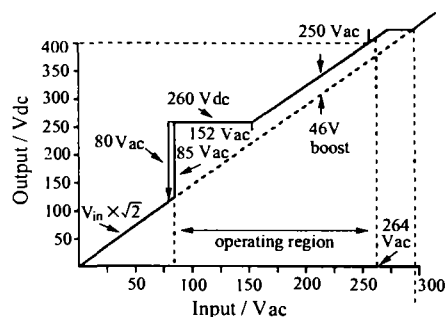


Fig.3 The output versus input

2.1 电源模块

在电源模块中, 我们选用 Vicor 公司 AC-DC 转换器 VI_HAM 模块。图 3 为 VI_HAM 模块输入电压与输出电压之关系。

为了满足传导 EMI/RFI 辐射的国际标准, VI_HAM 模块前端应外接 EMI 电源滤波器, EMI 滤波器中的稳压管、电感和电容器可以抑制输入瞬变电压。VI_HAM 模块具有短路关断功能, 当发生短路保护时, 不是将输入保险丝熔断, 在短路故障消除后, 模块还能恢复正常工作。VI_HAM 模块还具有输出过压保护功能, 当输出电压超过 415VDC, 内部升压变换器的升压值将降低, 从而使输出电压保护在 415VDC, 当输入交流电压有效值接近 293 V 时, VI_HAM 输出电压将降为零。此外, VI_HAM 模块中装有 PTC(正温度系数热敏电阻) 和分流元件, 可以限制输入浪涌电流。VI_HAM 有较大的电压输入范围。

2.2 功率变换模块

考虑到二极管激光器级联工作的要求, 对应图 1 的电压特性, 要求功率变换模块所提供的电压必须连续可调。

我们选用 VI_262_CU 和 VI_B62_CU 直流变换器。由于 VI_262_CU 只能提供 15 V 的输出, 因此采用串联的方法使其与 VI_B62_CU 倍增器连接, 每个串联模块将在相同的工作频率下驱动, 各模块的负载电流基本相等。须注意的是, 由于驱动器具有内部的电压反馈回路, 而倍增器没有, 所以驱动器及倍增器必须是相同的功率系列。我们用一块 VI_262_CU 和三块 VI_B62_CU 串接, 输出电压在 12.5 VD 到 48 V 之间连续可调, 并能在此电压范围内提供最大 150 A 的电流。

2.3 功率输出模块

从本质上来说，二极管驱动电源的功率输出电路是一种高稳定、高可靠、高输出质量的脉冲型稳流电路。其稳流电路要解决的关键问题是：选择一个快速响应的高稳定脉冲电流开关，一个性能良好的驱动电路和一个有效、功能齐全的控制电路。为此针对激光二极管的工作要求，功率输出模块采用以下措施：首先在采用大功率 IGBT 模块作为电流开关时，还需采用高速、高稳定的运算放大器作深度反馈控制，保证电流开关在很短的时间内完成大电流的转换。其次，为保证激光二极管在大电流下安全可靠地工作，对功率输出采用比例缓冲驱动，控制电流在快速上升或下降的转折点不至出现尖峰电流。最后，应严格保证控制电路到驱动电路上脉冲波形不受任何干扰。

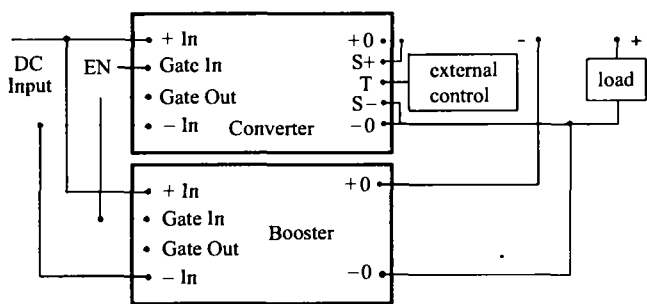


Fig. 4 The sketch map of Vicor module series connection

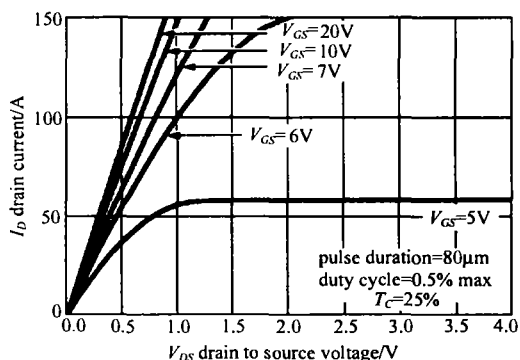


Fig. 5 IGBT device performance characteristic

绝缘栅双极晶体管 IGBT 具有 MOSFET 和 GTR 两者的优点，既有输入阻抗高，速度快，热稳定性好和驱动电路简单的特点，其通态电压低，耐压高，能承受较大的电流。所以我们选择 IGBT 作为输出器件。图 5 是我们所选用的 Intersil 公司 HUF75337G3 电压与电流关系曲线。

HUF75337G3 最大工作电流 75 A，承受电压 55 V，导通电阻 0.014 Ω。IGBT 是一个零电压开关器件，它的开通与关断是由栅极电压来控制的，当栅极电压 V_{GS} 施以正电压时，IGBT 导通，其导通电流大小取决于 V_{GS} 的值。因此，通过调节 V_{GS} 就能调节输出电流，从而达到稳流输出的目的。

此外，功率输出模块还提供激光二极管制冷所需的固定工作电压。

2.4 保护电路

仅 ns 宽度的瞬态电压或电流尖峰，都能引起激光二极管内部小平面的瞬时过热，造成损伤。而产生这种瞬态的原因很多，为此在电路中采用慢启动、温度控制、电源电压监测、电源浪涌电流抑制、快速吸收负载上电压及电流尖峰、输出端开路或短路保护、功率 IGBT 过流保护等多种安全措施。

短路保护电路、断路保护电路、过压保护电路、低压保护电路在工作时检测驱动二极管激光器的功率输出。在启动电源工作时第一个触发脉冲，将对工作状态检测，并在现检测以确定电路的工作状态，当检测到电路处于非工作状态时关断功率输出模块，并给出状态显示。如工作正常，将打开功率输出模块，提供激光二极管工作所需电源。

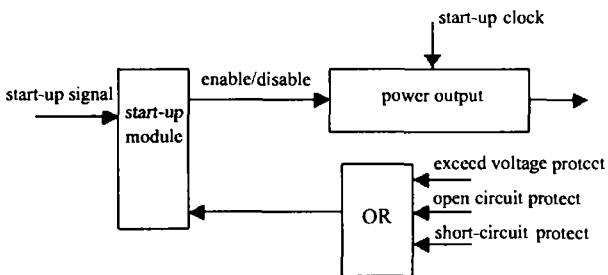


Fig. 6 The block diagram of protect circuit

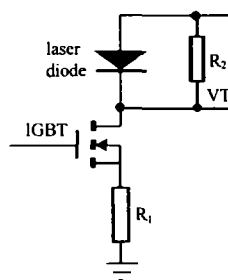


Fig. 7 The protect principle diagram of diode output port

我们以半导体激光器的输出端为例来说明: 通过小阻抗、大功率电阻对二极管激光器上的工作电流、电压模拟采样, 在线检测半导体二极管的工作电流、电压, 以排除半导体二极管因过流或过压而引起的损坏。 R_1 为 0.03Ω 采样电阻, R_2 为 $5.1 \text{ k}\Omega$ 的保护电阻。

从图 7 可知: 当半导体激光器开路时, 外触发信号导致 IGBT 导通, 但 R_2 较大, 使 VT 端输出电压较小; 当半导体激光器短路时, 外触发信号导致 IGBT 导通, 外加电压加在 VT 输出端, 使 VT 端输出电压很大; 通过比较触发的方式, 关闭触发模块来达到保护电路的目的。

2.5 外控信号处理电路

我们研制的大功率二极管驱动电源具有通用性, 通过外围控制电路能对电源的输出参数进行设置, 可设置的参数有: 最大输出电流、实际工作输出电流、输出电压、触发脉冲频率、触发脉冲宽度、输出脉冲占空比等。数据设置通过仪器的面板旋钮、拨动开关完成, 字符液晶显示设置的数据。面板指示灯显示仪器的工作状态。外控信号处理电路

2.6 温控电路

由于激光器电源输出电流较大, 在长时间工作而又散热不畅的情况下, 或由于内部损耗, 有可能导致内部功率输出模块 IGBT 过热, 再使 IGBT 的导通电阻增大, 因此也应在线控制 IGBT 散热片的温度, 当温度过高时, 关闭功率输出模块电源, 确保电源和激光二极管无恙。

2.7 辅助电路

半导体激光器的输出波长与半导体激光器的工作温度有关, 温度的变化, 激光器输出波长也随之漂移。LD 器件常温状态下 ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) 发射波长为 806.1 nm , 输出波长随温度的变化率为 $0.3 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 。因此, 要保证半导体激光器稳定的波长输出, 必须使半导体激光器工作在恒温状态。驱动电源额外配备供半导体制冷器用的冷却电源和一个测温探头。测温探头采用 DALLAS 的单总线、数字化的温度传感器 DS18B20。DS18B20 无须外部元件, 独特的一线接口, 电源和信号复合在一起, 体积小而灵活。DS18B20 在测温范围 $-10 \sim +850 \text{ }^\circ\text{C}$ 内, 温度分辨率达 12 位, 精度 $\pm 0.50 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

3 电源主要性能和技术指标

采用 VICOR 模块和大功率 IGBT 作为功率器件, 保证整个驱动电源电路简单, 有效地抑制了电源的浪涌冲击, 保证了激光二极管不受外界的电干扰。在线保护机制可以对半导体激光器实时监控, 半导体激光器的慢启动及关闭可根据具体情况而定。

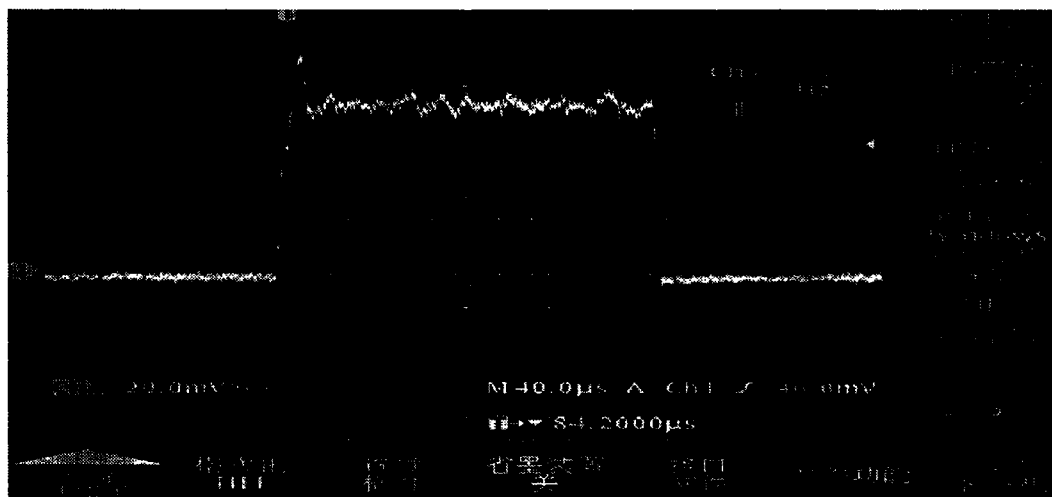


Fig.8 The sample of the laser diode output

在预置及改变驱动电流时, 能在预置负载上完成, 半导体激光器此时可脱离驱动电流源回路而关闭。

脉冲驱动电流的前沿有一较小的过冲, 脉冲电流输出波形平整 (见图 8) 无高频干扰。

图 8 为该电源输电流波形。测试条件: 激光二极管工作电流 60 A, 采样电阻为三只 3 W 0.01 Ω 的电阻并接, 脉冲频率 20 Hz, 脉冲宽度 200 μ s, 功率输出电路输出电压 18 V。

我们研制的大功率二极管驱动电源为其主要技术指标为:

输出电流: 5~150 A, 连续可调, 误差小于显示值的 1%(100 A 时);

输出电压: 12.5~50 V, 连续可调, 误差小于显示值的 1%+0.5 V;

触发脉冲频率: 1~1000 Hz, 连续可调, 20~1000 Hz 内, 误差小于显示值的 2%+2 Hz; 1~20 Hz 内, 误差小于显示值的 2%;

触发脉冲宽度: 50~1000 μ s, 连续可调, 误差小于显示值的 2%+2 μ s;

电流脉冲占空比: 电流输出 100 A 为 10%, 电流输出 150 A 为 5%。

该电源已应用在机载激光雷达样机上。通过一年来的使用, 激光二极管使用寿命正常, 未出现因电源造成的技术损伤。表明该电源设计合理, 性能稳定可靠, 可满足大功率激光二极管的驱动要求。

参 考 文 献

- 1 SDL Laser Diode Drivers User Guide [Z]. 1998
- 2 VICOR Component Power User Guide [Z]. 1999
- 3 INTERSIL Power Products for Integrated Communications [Z]. 2000

Power Supply of High-power Diode Laser

Li Ji, Chen Jiexiang, Zhang Yi, Qi Jun, Tu Bihai

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031 China)

Abstract According to the semiconductor laser diode performance characteristic, a kind of high-power diode laser driver was contrived. The output voltage is from 12 to 50 V and the duty ratio is 3 per cent when the maximum output current is 150 A. In the scheme design we used VICOR device as power module and IGBT as high power change device. The driver circuit is very simple, however, it could restrain current surge efficiently. This ensures that the laser diode doesn't be disturbed. The online protection mechanism could monitor the semiconductor laser in real time. The slowly startup circuit and thermo-control circuit ensure that the semiconductor laser could work safely. Now the driver has been applied in the airborne lidar sample system for over one year. It performs normally and reliably.

Key words laser diode driver; power module; IGBT; the damage from current surge

李 季 (1965 -), 高级工程师, 1987 年毕业于浙江大学电机工程学系, 主要从事激光雷达方面的工作, 现攻读在职博士学位。